

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни

«ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ І МЕРЕЖІ»

*(для студентів денної та заочної форм навчання
та слухачів другої вищої освіти спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. БЕКЕТОВА
2019

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт за дисципліною «Електричні системи та мережі» (для студентів денної та заочної форм навчання та слухачів другої вищої освіти спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, уклад. : В. О. Перепечений, С. В. Свергуненко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 28 с.

Укладачі : доцент, канд. техн. наук В. О. Перепечений,
асистент С. В. Свергуненко

Рецензент : доц., канд. техн. наук П. П. Рожков

Рекомендовано кафедрою «Системи електропостачання та електроспоживання міст», протокол № 7 від 25.04. 2016.

Загальні положення

Ціллю практичних занять є поглиблення і закріплення лекційного матеріалу, навчання студентів основним методикам рішення задач проектування електричних мереж і прищеплювання студентам навичок самостійної роботи.

На першому практичному занятті студентам повідомляють графік їхньої роботи, а також видають кожному студенту індивідуальне завдання по виконанню розрахунків електричних мереж.

Успіх практичних занять цілком залежить від методики і рівня їхній проведення, підготування й активності студентів, що варто всіляко підвищувати.

Перед початком занять роблять стисле опитування за теоретичним матеріалом даної теми, формулюють ціль заняття і методику його проведення. Після розбору методики тему закріплюють рішенням конкретних прикладів.

Наприкінці кожного практичного заняття студентам визначають об'єм домашнього завдання, повідомляють тему такого заняття і вказують, який теоретичний матеріал необхідно проробити до цього заняття, рекомендують відповідні літературні джерела і методичні посібники кафедри.

Контроль за виконанням індивідуальних занять бажаний на кожному занятті й обов'язковий по завершенні окремих завдань. Для проведення індивідуальних консультацій повинно бути виділений спеціальний час.

Робота студентів на практичних заняттях і виконання ними індивідуальних завдань враховуються при модульному контролі успішності.

При допуску до іспиту в студента перевіряють наявність, якість і глибину розуміння виконаних їм індивідуальних завдань.

ТИПОВІ ЗАДАЧІ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

1 Практичне заняття № 1. Визначення параметрів схем заміщення повітряних та кабельних ЛЕП

Задача 1.1

Повітряна лінія напругою 10 кВ довжиною 5,4 км будується на одиночних опорах з розміщенням проводів марки АС-50 по вершинах рівностороннього трикутника. Відстань між фазами $D = 1$ м. Визначити параметри схеми заміщення лінії.

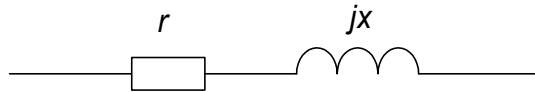


Рисунок 1.1 – Схема заміщення повітряних ліній напругою 6–35 кВ та кабельних ліній 6–10 кВ

Розв'язок

Схема заміщення повітряної лінії напругою 10 кВ зображена на рисунку 1.1.

З довідника для проводу марки АС-50: $d = 9,6$ мм; $r_0 = 0,603$ Ом/км. У зв'язку з тим, що провідники розміщені у вершинах рівностороннього трикутника, $D_{сер} = D = 1$ м. Знаходимо погонний індуктивний опір фази лінії:

$$x_0 = 0,1445 \cdot \lg \frac{D_{сер}}{R_{пп}} + 0,0157 = 0,1445 \cdot \lg \frac{2 \cdot 1}{9,6 \cdot 10^{-3}} + 0,0157 = 0,35 \text{ Ом/км.}$$

Активний та індуктивний опори лінії довжиною в 5,4 км складатимуть:

$$r = r_0 \cdot l = 0,603 \cdot 5,4 = 3,26 \text{ Ом;}$$

$$x = x_0 \cdot l = 0,35 \cdot 5,4 = 1,89 \text{ Ом.}$$

Задача 1.2

Визначити параметри схеми заміщення ПЛ напругою 110 кВ, яка виконана на П-подібних опорах проводом марки АС-150. Відстань між фазами лінії складає $D = 4$ м. Довжина лінії $L = 100$ км.

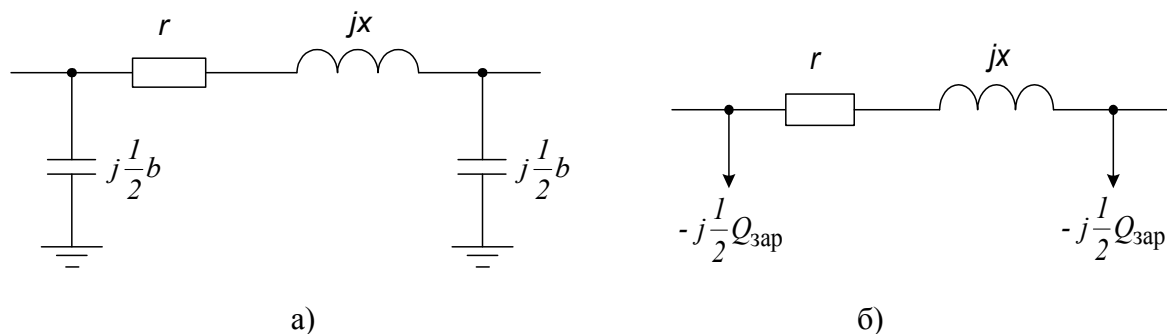


Рисунок 1.2 – Схема заміщення повітряної лінії напругою 110 кВ та кабельних ліній 35 кВ

Розв'язок

Схема заміщення повітряної лінії напругою 110 кВ зображена на рисунку 1.2, а, б.

У зв'язку з тим, що проводи на ПЛ розміщуються в одну горизонталь, то середньоегеометрична відстань між фазами складає

$$D_{\text{сер}} = 1,26 \cdot D = 5,04 \text{ м.}$$

З довідника для проводу марки АС-150:

$$d = 16,8 \text{ мм; } \gamma_0 = 0,199 \text{ Ом/км.}$$

Визначаємо погонний індуктивний опір та погонну емнісну провідність:

$$x_0 = 0,1445 \cdot \lg \frac{2 \cdot 5,04}{16,8 \cdot 10^{-3}} + 0,0157 = 0,417 \text{ Ом/км.}$$

$$b_0 = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{2 \cdot 5,04}{16,8 \cdot 10^{-3}}} = 2,73 \cdot 10^{-6} \text{ СМ/км}$$

Визначимо погонну зарядну потужність:

$$Q_{0 \text{ зар}} = b_0 \cdot U^2 = 2,73 \cdot 10^{-6} \cdot 110^2 = 0,033 \text{ Мвар/км.}$$

Знаючи довжину лінії та погонні параметри, знаходимо параметри схеми заміщення:

$$r = 0,199 \cdot 100 = 19,1 \text{ Ом};$$

$$x = 0,417 \cdot 100 = 41,7 \text{ Ом};$$

$$b = 2,73 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 273 \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

$$Q_{\text{зар}} = 0,033 \cdot 100 = 3,3 \text{ Мвар}.$$

Задача 1.3

Визначити параметри схеми заміщення КЛ напругою 110 кВ, довжиною 35 км, яка виконана однофазним кабелем з ізоляцією зі зшитого поліетилену марки АПвЭгП-110 1 × 240/35. Кабелі розміщені у вершинах рівностороннього трикутника впритул один до одного.

Розв'язок

Схема заміщення кабельної лінії напругою 110 кВ зображена на рисунку 1.2.

З каталогу знаходимо параметри кабелю марки АПвЭгП-110 1 × 240/35:

- переріз струмопровідної алюмінієвої жили 240 мм^2 ;
- переріз мідного екрану 35 мм^2 ;
- зовнішній діаметр кабелю $D_{\text{каб}} = 64 \text{ мм}$;
- погонний активний опір алюмінієвої жили $r_0 = 0,125 \text{ Ом/км}$;
- погонний активний опір мідного екрану $r_0 = 0,524 \text{ Ом/км}$;
- погонна індуктивність кабелю за прокладки фаз у вершинах рівностороннього трикутника впритул $L_0 = 0,458 \text{ мГн/км}$;
- погонна ємність кабелю за прокладки фаз у вершинах рівностороннього трикутника впритул $C_0 = 0,151 \text{ мкФ/км}$.

Визначаємо погонний індуктивний опір та погонну ємнісну провідність кабелю:

$$x_0 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_0 = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,458 \cdot 10^{-6} = 0,144 \text{ Ом/км};$$

$$b_0 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_0 = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,151 \cdot 10^{-6} = 4,744 \cdot 10^{-5} \text{ См/км}.$$

Визначимо погонну зарядну потужність:

$$Q_{0\text{ зар}} = b_0 \cdot U^2 = 4,744 \cdot 10^{-5} \cdot 110^2 = 0,574 \text{ Мвар/км}$$

Знаючи довжину кабельної лінії та погонні параметри, знаходимо параметри схеми заміщення КЛ:

$$r = 0,125 \cdot 35 = 4,375 \text{ Ом};$$

$$r_{\text{екрану}} = 0,524 \cdot 35 = 4,375 \text{ Ом};$$

$$x = 0,144 \cdot 35 = 5,04 \text{ Ом};$$

$$b = 4,744 \cdot 10^{-5} \cdot 35 = 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ См};$$

$$Q_{\text{зар}} = 0,574 \cdot 35 = 20,09 \text{ Мвар.}$$

Порівнюючи результати розрахунків з результатами, отриманими у попередньому прикладі, можна зробити висновок, що для КЛ погонний індуктивний опір приблизно в 3 рази менший, а погонна зарядна потужність приблизно в 17 разів більша, ніж для ПЛ тієї ж напруги. Це пояснюється зменшенням відстані між фазами для КЛ порівняно з ПЛ. Зменшення індуктивного опору призводить до зменшення втрат реактивної потужності в лінії, а збільшення зарядної потужності з одного боку розвантажує лінію від реактивної потужності, а з іншого - може привести до внутрішніх перенапруг. Отже КЛ порівняно з повітряною має свої переваги та недоліки, які обов'язково треба враховувати під час проектування електричних мереж.

Задача 1.4

Одноколова ПЛ напругою 110 кВ повинна будуватися на одиночних опорах з розміщенням проводів у вершинах рівностороннього трикутника, відстань між якими складає $D = 4$ м. Побудувати залежність погонних параметрів лінії від перерізу проводу марки АС за його зміни від 70 до 240 мм².

Розв'язок

З довідника знаходимо необхідні параметри проводів і заносимо до таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Довідникові параметри проводів

Марка проводу	d, мм	r_0 , Ом/км
АС-70	11,4	0,429
АС-95	13,5	0,306
АС-120	15,2	0,249
АС-150	16,8	0,199
АС-185	18,9	0,157
АС-240	21,6	0,121

У зв'язку з тим, що проводи ПЛ розміщуються у вершинах рівностороннього трикутника, то середньгеометрична відстань між фазами складає $D_{\text{сер}} = D = 4$ м. Знаходимо погонні індуктивні опори та ємнісні провідності для проводів стандартних перерізів від 70 до 240 мм², результати розрахунків заносимо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Питомі параметри проводів

Марка проводу	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-6}$, См/км	r_0 / x_0
АС-70	0,429	0,427	2,66	1,0
АС-95	0,306	0,416	2,73	0,74
АС-120	0,249	0,409	2,79	0,61
АС-150	0,199	0,403	2,83	0,49
АС-185	0,157	0,395	2,89	0,4
АС-240	0,121	0,387	2,95	0,31

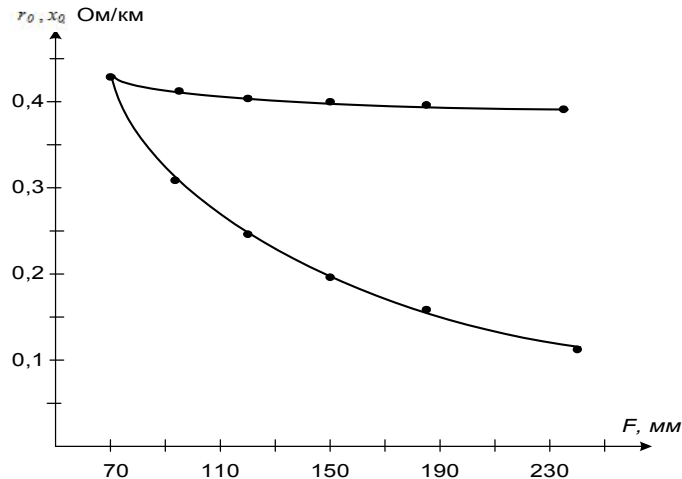


Рисунок 1.3 – Залежність погонних параметрів ПЛ напругою 110 кВ від перерізу проводу

З рисунку 1.3 видно, що погонний індуктивний опір практично не залежить від перерізу проводу.

Як видно з таблиці 1.2, для електричних мереж напругою 110 кВ і більше відношення $r_0/x_0 < 1$, яке зменшується зі збільшенням перерізу проводу.

Приклад 1.5

Визначити параметри схеми заміщення двоколової ПЛ напругою 35 кВ, довжиною 15 км, яка виконана проводом марки АС-120 з розміщенням проводів у вершинах рівностороннього трикутника. Відстань між фазами лінії складає $D = 3$ м.

Розв'язок

Схема заміщення ПЛ напругою 35 кВ зображена на рисунку 1.1. З довідника знаходимо необхідні параметри проводу марки АС-120:

$$d = 15,2 \text{ мм}; r_0 = 0,249 \text{ Ом/км}.$$

У зв'язку з тим, що на двоколовій ПЛ провідники розміщені у вершинах рівностороннього трикутника, середньогометрична відстань між фазами складає $D_{сер} = D = 3$ м.

Знаходимо погонний індуктивний опір:

$$x_0 = 0,1445 \cdot \lg \frac{D_{\text{сер}}}{R_{\text{пр}}} + 0,0157 = 0,1445 \cdot \lg \frac{2 \cdot 3}{15,2 \cdot 10^{-3}} + 0,0157 = 0,39 \text{ Ом/км.}$$

Знаючи довжину лінії та погонні параметри знаходимо параметри схеми заміщення одного кола:

$$r = r_0 \cdot l = 0,249 \cdot 15 = 3,74 \text{ Ом;}$$

$$x = x_0 \cdot l = 0,39 \cdot 15 = 5,85 \text{ Ом.}$$

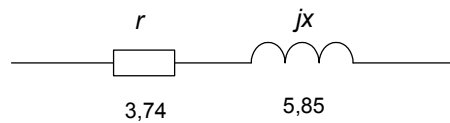


Рисунок 1.4 – Схема заміщення з параметрами одного кола
для лінії напругою 35 кВ

Оскільки лінія 35 кВ двоколова, то еквівалентні активний та індуктивний опори дорівнюють половині розрахованих:

$$r_{\text{екв}} = \frac{1}{2} \cdot r = \frac{1}{2} \cdot 3,74 = 1,87 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{екв}} = \frac{1}{2} \cdot x = \frac{1}{2} \cdot 5,85 = 2,93 \text{ Ом}$$

Еквівалентна схема заміщення двоколової ПЛ з розрахованими параметрами приведена на рисунку 1.5.

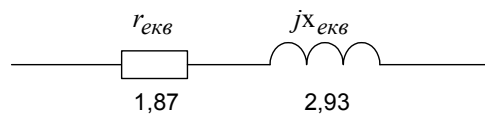


Рисунок 1.5 – Еквівалентна схема заміщення з параметрами
двоколової лінії напругою 35 кВ

Практичне заняття №2. Визначення параметрів схем заміщення трансформаторів

Задача 2.1

Розрахувати параметри схеми заміщення двообмоткового трансформатора типу ТМ-100/10.

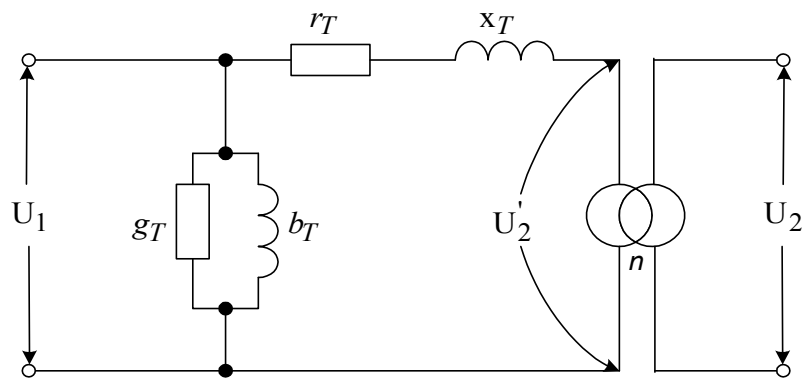
Розв'язок

Схема заміщення двообмоткового трансформатора зображена на рисунку 2.1, а, б.

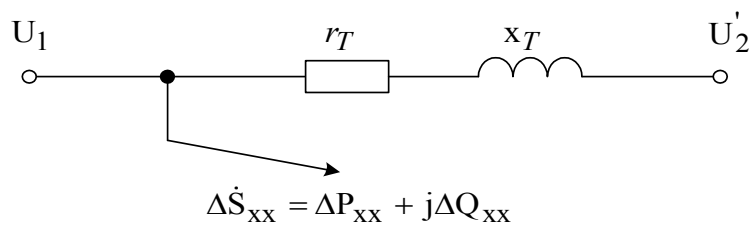
З довідника знаходимо параметри трансформатора типу ТМ-100/10:

$$S_{TH} = 100 \text{ кВ}\cdot\text{А}, U_{BH} = 10 \text{ кВ}, U_{HH} = 0,4 \text{ кВ}, \Delta P_{K3} = 1,97 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{XX} = 0,36 \text{ кВт}, u_{K3\%} = 4,5\%, I_{XX\%} = 2,6\%.$$



а)



б)

Рисунок 2.1 – Умовне позначення (а) та схема заміщення (б) двообмоткових трансформаторів

Визначимо активні та індуктивні опори обмоток трансформатора, зведені до напруги обмотки високої напруги.

$$r_T = \frac{\Delta P_{\kappa 3} \cdot U_{\text{BH}}^2}{S_{\text{TH}}^2} = \frac{1,97 \cdot 10^3 \cdot (10 \cdot 10^3)^2}{(100 \cdot 10^3)^2} = 19,7 \text{ Ом};$$

$$u_{a\%} = \Delta P_{\kappa 3\%} = \frac{\Delta P_{\kappa 3}}{S_{\text{TH}}} \cdot 100 = \frac{1,97 \cdot 10^3}{100 \cdot 10^3} \cdot 100 = 1,97 \%;$$

$$u_{p\%} = \sqrt{u_{\kappa 3\%}^2 - u_{a\%}^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,97^2} = 4,05 \%;$$

$$x_T = \frac{u_{p\%}}{100} \cdot \frac{U_{\text{BH}}^2}{S_{\text{TH}}} = \frac{4,05}{100} \cdot \frac{(10 \cdot 10^3)^2}{100 \cdot 10^3} = 40,5 \text{ Ом}.$$

Визначаємо активну та індуктивну провідності трансформатора:

$$g_T = \frac{\Delta P_{\text{XX}}}{U_{\text{BH}}^2} = \frac{0,36 \cdot 10 \cdot 10^3}{(10 \cdot 10^3)^2} = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

$$b_T = \frac{I_{\text{XX}\%}}{100} \cdot \frac{S_{\text{TH}}}{U_{\text{BH}}^2} = \frac{2,6}{100} \cdot \frac{100 \cdot 10^3}{(10 \cdot 10^3)^2} = 26 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

Реактивні втрати потужності холостого ходу:

$$\Delta Q_{\text{XX}} = \frac{I_{\text{XX}\%}}{100} \cdot S_{\text{TH}} = \frac{2,6}{100} \cdot 100 = 2,6 \text{ квар}.$$

Схеми заміщення трансформатора типу ТМ-100/10 з розрахованими параметрами наведені на рисунку 2.2: на рисунку 2.2, а – з опорами в Ом та провідностями в См, а на рисунку 2.2, б – з опорами в Ом та активними та реактивними втратами потужності холостого ходу в кВА.

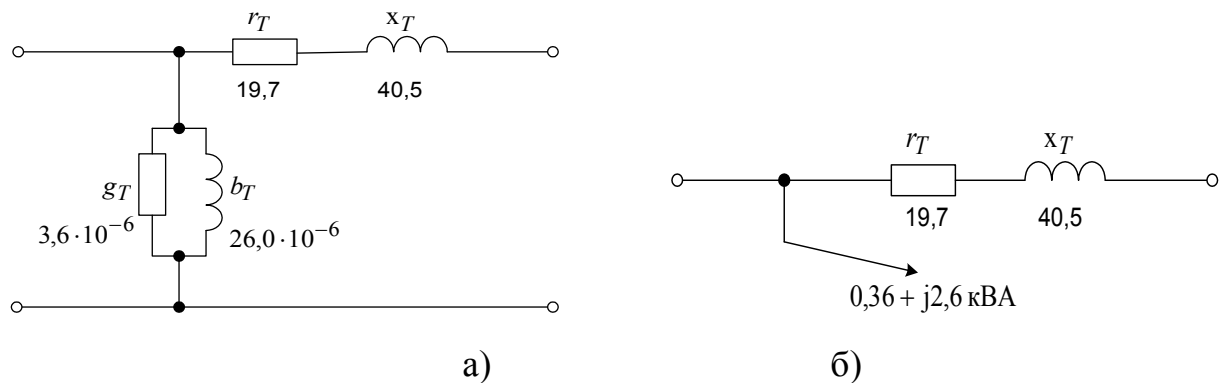


Рисунок 2.2 – Схеми заміщення трансформатора ТМ-100/10 з розрахованими параметрами

З результатів розрахунків видно, що для трансформаторів малої потужності значення активного та індуктивного опорів є одного порядку.

Задача 2.2

Розрахувати параметри схеми заміщення двообмоткового трансформатора типу ТМН-10000/35.

Розв'язок

Схема заміщення двообмоткового трансформатора зображена на рисунку 2.5 б, в.

З довідника знаходимо параметри трансформатора типу ТМН-10000/35:

$$S_{TH} = 10000 \text{ кВ}\cdot\text{А}, U_{BH} = 36,75 \text{ кВ}, U_{HH} = 10,5 \text{ кВ}, \Delta P_{K3} = 65 \text{ кВт}, \\ \Delta P_{XX} = 14,5 \text{ кВт}, u_{K3\%} = 7,5\%, E_T = \pm 9 \times 1,3 \text{ \%}.$$

Визначимо активні та індуктивні опори обмоток трансформатора, зведені до напруги обмотки високої напруги. У зв'язку з тим, що трансформатор має велику потужність, у формулі можна прийняти $u_{p\%} = u_{K3\%}$.

$$r_T = \frac{\Delta P_{K3} \cdot U_{BH}^2}{S_{TH}^2} = \frac{65 \cdot 10^3 \cdot (36,75 \cdot 10^3)^2}{(10 \cdot 10^6)^2} = 0,88 \text{ Ом} \\ x_T = \frac{u_{p\%}}{100} \cdot \frac{U_{BH}^2}{S_{TH}} \approx \frac{u_{K3\%}}{100} \cdot \frac{U_{BH}^2}{S_{TH}} = \frac{7,5}{100} \cdot \frac{(36,75 \cdot 10^3)^2}{10 \cdot 10^6} = 10,1 \text{ Ом}$$

Визначаємо активну та індуктивну провідності трансформатора:

$$g_T = \frac{\Delta P_{XX}}{U_{BH}^2} = \frac{14,5 \cdot 10^3}{(36,75 \cdot 10^3)^2} = 10,75 \cdot 10^{-6} \text{ См}; \\ b_T = \frac{I_{XX\%}}{100} \cdot \frac{S_{TH}}{U_{BH}^2} = \frac{0,8}{100} \cdot \frac{10 \cdot 10^6}{(36,75 \cdot 10^3)^2} = 59,23 \cdot 10^{-6} \text{ См}.$$

Реактивні втрати потужності холостого ходу:

$$\Delta Q_{XX} = \frac{I_{XX\%}}{100} \cdot S_{TH} = \frac{0,8}{100} \cdot 10000 = 80 \text{ квар}.$$

Схеми заміщення трансформатора типу ТМН-10000/35 з параметрами наведені на рисунку 2.3: на рисунку 2.3, а – з опорами в Ом та провідностями в См, а на рисунку 2.3, б – з опорами в Ом та активними й реактивними втратами потужності холостого ходу в МВА.

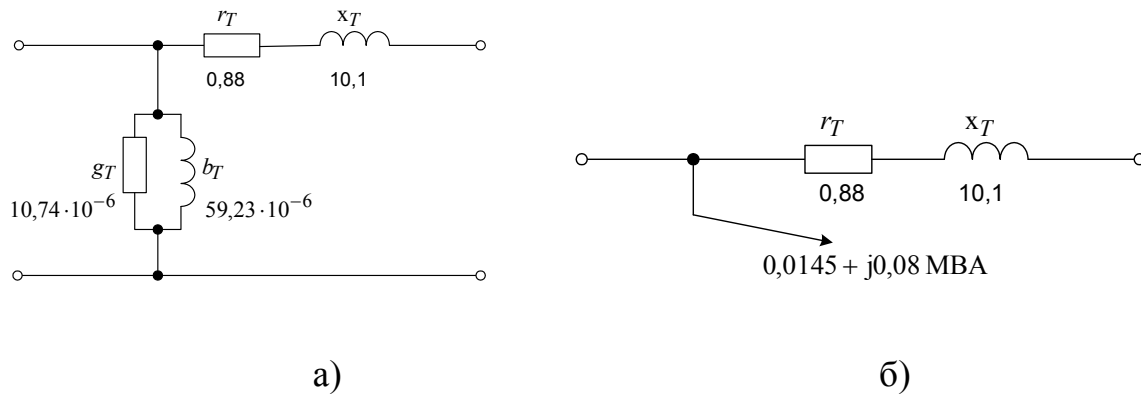


Рисунок 2.3 – Схеми заміщення трансформатора ТМН-10000/35 з розрахованими параметрами

Задача 2.3

Розрахувати параметри схеми заміщення триобмоткового трансформатора типу ТДТН-16000/110.

Розв'язок

Схема заміщення триобмоткового трансформатора зображена на рисунку 2.4, б.

З довідника знаходимо параметри трансформатора типу ТДТН-16000/110: $S_{ТН} = 16000 \text{ кВ}\cdot\text{А}$, $U_{ВН} = 115 \text{ кВ}$, $U_{CH} = 38,5 \text{ кВ}$, $U_{HH} = 11 \text{ кВ}$, $\Delta P_{K3} = 100 \text{ кВт}$, $\Delta P_{XX} = 23 \text{ кВт}$, $u_{K3B-C\%} = 10,5\%$, $u_{K3B-H\%} = 17\%$, $u_{K3C-H\%} = 6 \%$, $I_{XX\%} = 1,0 \%$.

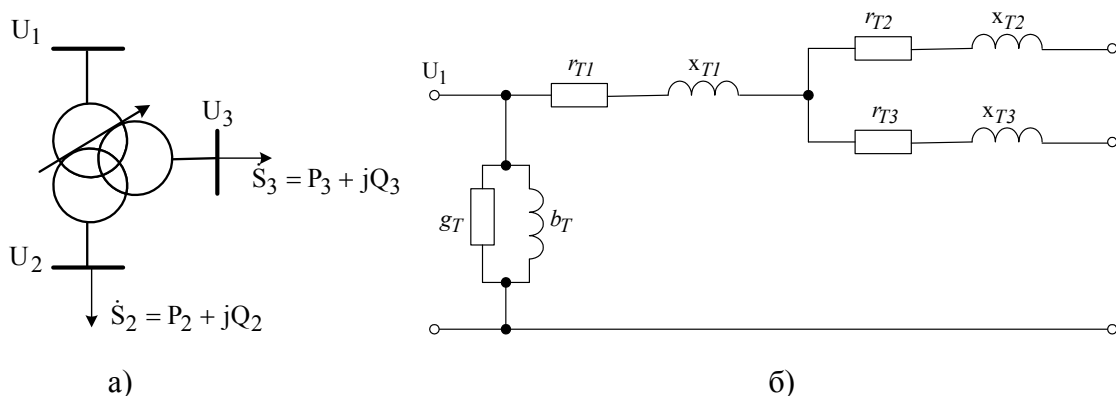


Рисунок 2.4 – Умовне зображення (а) та схема заміщення (б) триобмоткового трансформатора

Визначимо загальний опір обмоток триобмоткового трансформатора та опори його обмоток, зведені до напруги обмотки високої напруги:

$$r_{заг} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_{BH}^2}{S_{TH}^2} = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot (115 \cdot 10^3)^2}{(16 \cdot 10^6)^2} = 5,2 \text{ Ом}.$$

$$r_{T1} = r_{T2} = r_{T3} = 0,5 \cdot r_{заг} = 0,5 \cdot 5,17 = 2,6 \text{ Ом}.$$

Визначаємо напруги короткого замикання для кожної з обмоток:

$$u_{кзВ\%} = \frac{1}{2} \cdot (u_{кзВ-С\%} + u_{кзВ-Н\%} + u_{кзС-Н\%}) = \frac{1}{2} \cdot (10,5 + 17 - 6) = 10,75\%$$

$$u_{кзС\%} = \frac{1}{2} \cdot (u_{кзВ-С\%} - u_{кзВ-Н\%} + u_{кзС-Н\%}) = \frac{1}{2} \cdot (10,5 - 17 + 6) \approx 0\%$$

$$u_{кзН\%} = \frac{1}{2} \cdot (-u_{кзВ-С\%} + u_{кзВ-Н\%} + u_{кзС-Н\%}) = \frac{1}{2} \cdot (-10,5 + 17 + 6) = 6,25\%$$

Визначимо індуктивні опори обмоток трансформатора, зведені до напруги обмотки високої напруги:

$$x_{T1} = \frac{u_{кзВ\%}}{100} \cdot \frac{U_{BH}^2}{S_{TH}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{(115 \cdot 10^3)^2}{16 \cdot 10^6} = 88,9 \text{ Ом}.$$

$$x_{T2} = \frac{u_{кзС\%}}{100} \cdot \frac{U_{BH}^2}{S_{TH}} = 0.$$

$$x_{T3} = \frac{u_{кзН\%}}{100} \cdot \frac{U_{BH}^2}{S_{TH}} = \frac{6,25}{100} \cdot \frac{(115 \cdot 10^3)^2}{16 \cdot 10^6} = 51,7 \text{ Ом}$$

Визначаємо активну та індуктивну провідності трансформатора:

$$g_T = \frac{\Delta P_{XX}}{U_{BH}^2} = \frac{23 \cdot 10^3}{(115 \cdot 10^3)^2} = 1,74 \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

$$b_T = \frac{I_{XX\%}}{100} \cdot \frac{S_{TH}}{U_{BH}^2} = \frac{1}{100} \cdot \frac{16 \cdot 10^6}{(115 \cdot 10^3)^2} = 12,1 \cdot 10^{-6} \text{ См}.$$

Реактивні втрати потужності холостого ходу:

$$\Delta Q_{XX} = \frac{I_{XX\%}}{100} \cdot S_{TH} = \frac{1}{100} \cdot 16000 = 160 \text{ квар}.$$

Схеми заміщення трансформатора типу ТДТН-16000/110 з розрахованими параметрами зображені на рисунку 2.5: а – з опорами в Ом та провідностями в См, а на рисунку 2.5, б – з опорами в Ом та активними і реактивними втратами потужності холостого ходу в МВА.

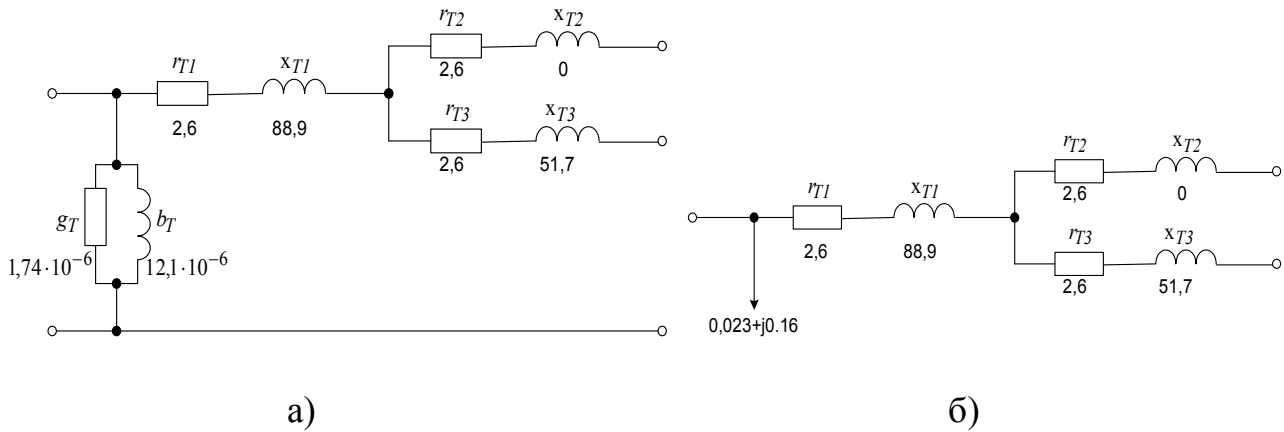


Рисунок 2.5 – Схеми заміщення трансформатора ТДТН-16000/110 з розрахованими параметрами

Задача 2.4

Розрахувати параметри схеми заміщення трансформатора типу ТРДН-25000/110, у якого обмотка низької напруги розщеплена.

Розв'язок

Схема заміщення трансформатора з розщепленою обмоткою низької напруги зображена на рисунку 2.6, б.

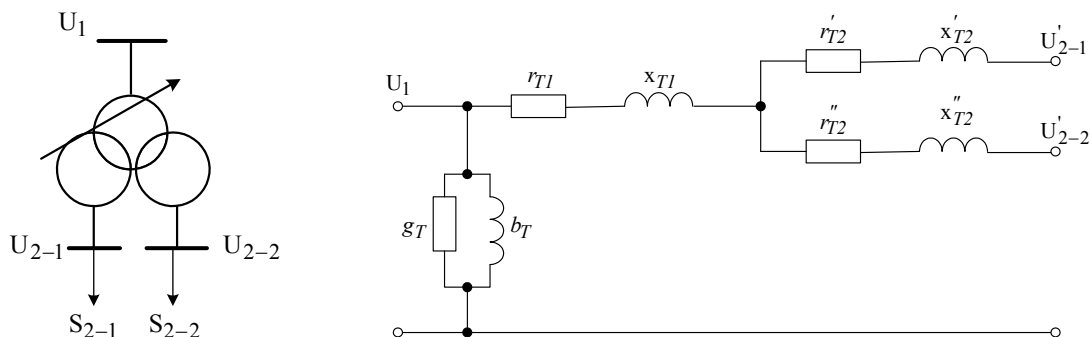


Рисунок 2.6 – Умовне зображення (а) та схема заміщення (б) трансформатора з розщепленою обмоткою низької напруги

$$S_{TH} = 25000 \text{ кВ}\cdot\text{А}, U_{BH} = 115 \text{ кВ}, U'_{HH} = 10,5 \text{ кВ}, U''_{HH} = 10,5 \text{ кВ}, \Delta P_{K3} = 120 \text{ кВт}, \\ \Delta P_{XX} = 27 \text{ кВт}, u_{K3} \% = 10,5\%, I_{XX\%} = 0,7 \%, E_T = \pm 9 \times 1,78\%.$$

Визначимо активні та індуктивні опори обмоток трансформатора, зведені до напруги обмотки високої напруги. У зв'язку з тим, що трансформатор має велику потужність, можна прийняти $u_{p\%} = u_{K3\%}$.

$$r_T = \frac{\Delta P_{K3} \cdot U_{BH}^2}{S_{TH}^2} = \frac{120 \cdot 10^3 \cdot (115 \cdot 10^3)^2}{(25 \cdot 10^6)^2} = 2,54 \text{ Ом}$$

$$x_T = \frac{u_{p\%}}{100} \cdot \frac{U_{BH}^2}{S_{TH}} \approx \frac{u_{K3\%}}{100} \cdot \frac{U_{BH}^2}{S_{TH}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{(115 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = 55,5 \text{ Ом}$$

Активний та індуктивний опори обмотки високої напруги:

$$r_{T1} = x_{T1} \cong 0 \text{ Ом}$$

Визначаємо активний та індуктивний опори обмоток низької напруги:

$$r'_{T1} = r''_{T1} = 2 \cdot r_T = 2 \cdot 2,54 = 5,08 \text{ Ом.}$$

$$x'_{T1} = x''_{T1} = 2 \cdot x_T = 2 \cdot 55,5 = 111 \text{ Ом.}$$

Визначаємо активну та індуктивну провідності трансформатора:

$$g_T = \frac{\Delta P_{XX}}{U_{BH}^2} = \frac{27 \cdot 10^3}{(115 \cdot 10^3)^2} = 2,04 \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

$$b_T = \frac{I_{XX\%}}{100} \cdot \frac{S_{TH}}{U_{BH}^2} = \frac{0,7}{100} \cdot \frac{25 \cdot 10^6}{(115 \cdot 10^3)^2} = 13,2 \cdot 10^{-6} \text{ См}.$$

Реактивні втрати потужності холостого ходу:

$$\Delta Q_{XX} = \frac{I_{XX\%}}{100} \cdot S_{TH} = \frac{0,7}{100} \cdot 25000 = 175 \text{ квар}.$$

Схеми заміщення трансформатора типу ТРДН-25000/110 з розрахованими параметрами зображені на рисунку 2.7: на рисунку 2.7, а – з опорами в Ом та

провідностями в См, а на рисунку 2.7, б – з опорами в Ом та активними й реактивними втратами потужності холостого ходу в МВА.

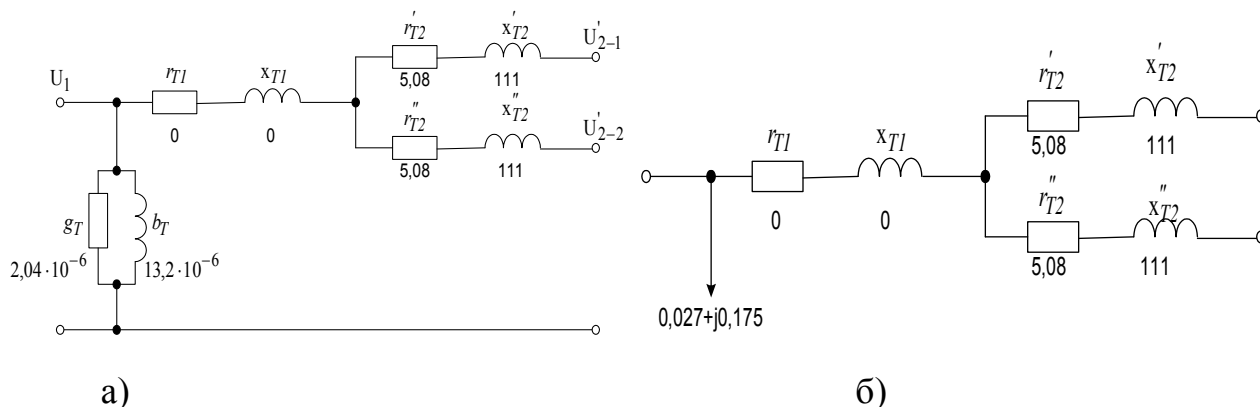


Рисунок 2.7 – Схеми заміщення трансформатора ТРДН-25000/110 з розрахованими параметрами

Задача 2.5

Розрахувати параметри схеми заміщення автотрансформатора типу АТДЦТН-125000/330/110.

Розв'язок

Схема заміщення автотрансформатора зображена на рисунку 2.6 б. З довідника знаходимо параметри автотрансформатора типу АТДЦТН-125000/330/110:

$$S_{TH} = 125000 \text{ кВ} \cdot \text{А}, U_{BH} = 330 \text{ кВ}, U_{CH} = 115 \text{ кВ}, U_{HH} = 10,5 \text{ кВ},$$

$$\Delta P_{K3} = 370 \text{ кВт}, \Delta P_{XX} = 115 \text{ кВт}, u_{K3B-C\%} = 10\%, u_{K3B-H\%} = 35\%, u_{K3C-H\%} = 24\%,$$

$$I_{XX\%} = 0,5\%, E_T = \pm 6 \times 2\%, \alpha_{HH} = 0,5.$$

Визначимо загальний опір обмоток автотрансформатора та опори його обмоток, зведені до напруги обмотки високої напруги:

$$r_{zag} = \frac{\Delta P_{K3} \cdot U_{BH}^2}{S_{TH}^2} = \frac{370 \cdot 10^3 \cdot (330 \cdot 10^3)^2}{(125 \cdot 10^6)^2} = 2,58 \text{ Ом}.$$

$$r_{T1} = r_{T2} = 0,5 \cdot r_{zag} = 0,5 \cdot 2,58 = 1,29 \text{ Ом}.$$

$$r_{T3} = \frac{0,5 \cdot r_{zag}}{\alpha_{HH}} = \frac{0,5 \cdot 2,58}{0,5} = 2,58 \text{ Ом}.$$

Визначаємо напруги короткого замикання для кожної з обмоток:

$$u_{кзВ\%} = \frac{1}{2} \cdot (u_{кзВ-С\%} + u_{кзВ-Н\%} - u_{кзС-Н\%}) = \frac{1}{2} \cdot (10 + 35 - 24) = 10,5\%$$

$$u_{кзС\%} = \frac{1}{2} \cdot (u_{кзВ-С\%} - u_{кзВ-Н\%} + u_{кзС-Н\%}) = \frac{1}{2} \cdot (10 - 35 + 24) \approx 0\%$$

$$u_{кзН\%} = \frac{1}{2} \cdot (-u_{кзВ-С\%} + u_{кзВ-Н\%} + u_{кзС-Н\%}) = \frac{1}{2} \cdot (-10 + 35 + 24) = 24,5\%$$

Визначимо індуктивні опори обмоток автотрансформатора, зведені до напруги обмотки високої напруги:

$$x_{T1} = \frac{u_{кзВ\%}}{100} \cdot \frac{U_{BH}^2}{S_{TH}} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{(330 \cdot 10^3)^2}{125 \cdot 10^6} = 91,5 \text{ Ом.}$$

$$x_{T2} = \frac{u_{кзС\%}}{100} \cdot \frac{U_{BH}^2}{S_{TH}} = 0 \text{ Ом.}$$

$$x_{T3} = \frac{u_{кзН\%}}{100} \cdot \frac{U_{BH}^2}{S_{TH}} = \frac{24,5}{100} \cdot \frac{(330 \cdot 10^3)^2}{125 \cdot 10^6} = 213,4 \text{ Ом}$$

Визначаємо активну та індуктивну провідності автотрансформатора:

$$g_T = \frac{\Delta P_{XX}}{U_{BH}^2} = \frac{115 \cdot 10^3}{(330 \cdot 10^3)^2} = 1,06 \cdot 10^{-6} \text{ См};$$

$$b_T = \frac{I_{XX\%}}{100} \cdot \frac{S_{TH}}{U_{BH}^2} = \frac{0,5}{100} \cdot \frac{125 \cdot 10^6}{(330 \cdot 10^3)^2} = 5,74 \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

Реактивні втрати потужності холостого ходу:

$$\Delta Q_{XX} = \frac{I_{XX\%}}{100} \cdot S_{TH} = \frac{0,5}{100} \cdot 125000 = 625 \text{ квар.}$$

Схеми заміщення автотрансформатора типу АТДЦТН-125000/330/110 з розрахованими параметрами зображені на рисунку 2.8: на рисунку 2.8, а – з опорами в Ом та провідностями в См, а на рисунку 2.8, б - з опорами в Ом та активними й реактивними втратами потужності холостого ходу в МВА.

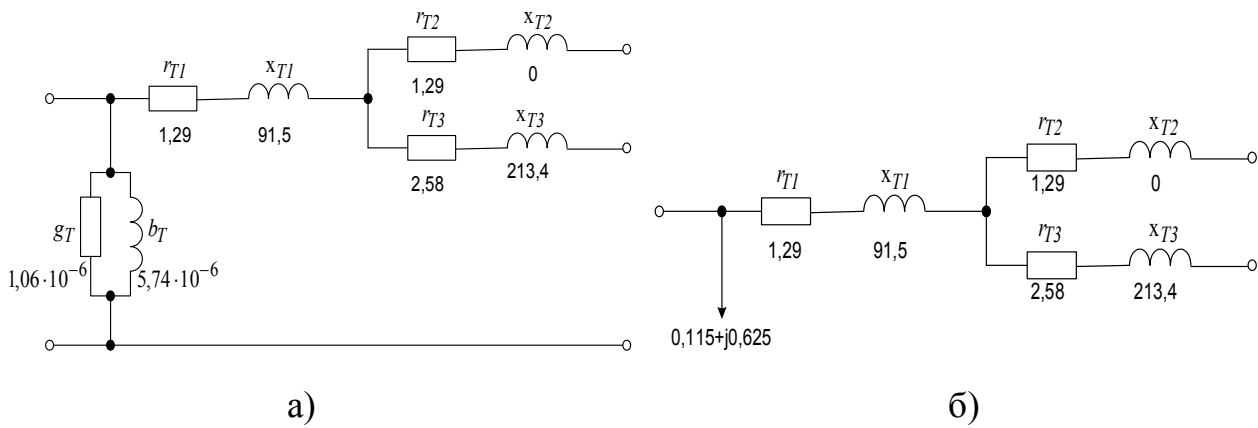
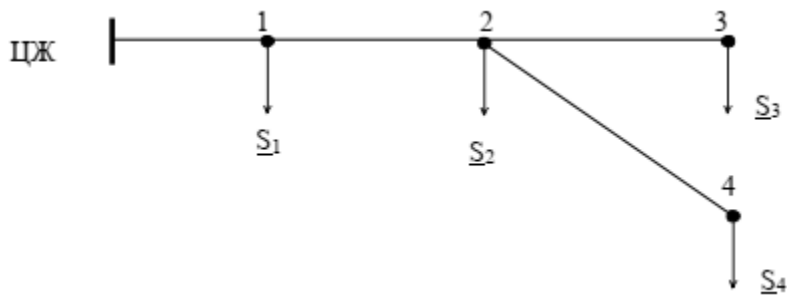


Рисунок 2.8 – Схеми заміщення автотрансформатора АТДЦТН-125000/330/110 з розрахованими параметрами

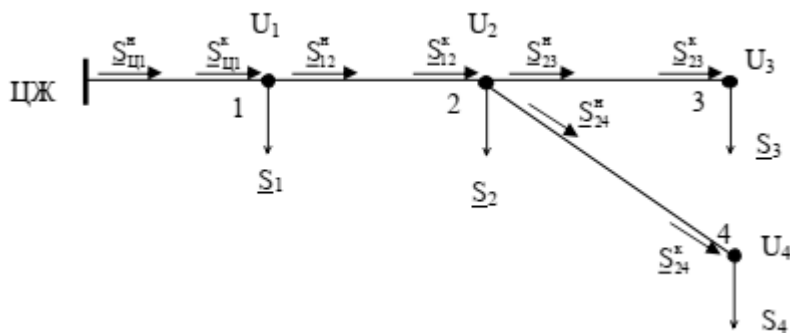
Практичне заняття № 3. Розрахунок розімкнутих мереж

Задача № 3

Навести в загальному вигляді ітераційний розрахунок розімкнутої мережі 110 кВ (розрахунок у два етапи). Дані: розрахункові навантаження у вузлах, опори гілок і напруги в центрі живлення.



Розв'язок



I етап: Допускаємо, що напруга в усіх вузлах дорівнює номінальній,
 $U_i = U_{\text{ном}}$.

$$\underline{S}_{23}^k = \underline{S}_3; \Delta \underline{S}_{23} = \left(\frac{S_{23}^k}{U_3} \right)^2 \cdot \underline{Z}_{23}; \underline{S}_{23}^H = \underline{S}_{23}^k + \Delta \underline{S}_{23}.$$

$$\underline{S}_{24}^k = \underline{S}_4; \Delta \underline{S}_{24} = \left(\frac{S_{24}^k}{U_4} \right)^2 \cdot \underline{Z}_{24}; \underline{S}_{24}^H = \underline{S}_{24}^k + \Delta \underline{S}_{24}.$$

$$\underline{S}_{12}^k = \underline{S}_{23}^H + \underline{S}_{24}^H + \underline{S}_2; \Delta \underline{S}_{12} = \left(\frac{S_{12}^k}{U_2} \right)^2 \cdot \underline{Z}_{12}; \underline{S}_{12}^H = \underline{S}_{12}^k + \Delta \underline{S}_{12};$$

$$\underline{S}_{11}^k = \underline{S}_{12}^H + \underline{S}_1; \Delta \underline{S}_{11} = \left(\frac{S_{11}^k}{U_1} \right)^2 \cdot \underline{Z}_{11}; \underline{S}_{11}^H = \underline{S}_{11}^k + \Delta \underline{S}_{11}.$$

II етап: U_{11} – дано;

$$\Delta U_{11} = \frac{P_{11}^H \cdot r_{11} + Q_{11}^H \cdot x_{11}}{U_{11}}; U_1 = U_{11} - \Delta U_{11};$$

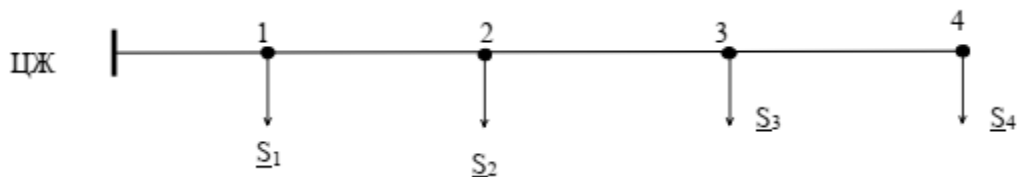
$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}^H \cdot r_{12} + Q_{12}^H \cdot x_{12}}{U_{12}}; U_2 = U_1 - \Delta U_{12};$$

$$\Delta U_{23} = \frac{P_{23}^H \cdot r_{23} + Q_{23}^H \cdot x_{23}}{U_{23}}; U_3 = U_2 - \Delta U_{23};$$

$$\Delta U_{24} = \frac{P_{24}^H \cdot r_{24} + Q_{24}^H \cdot x_{24}}{U_{24}}; U_4 = U_3 - \Delta U_{24}.$$

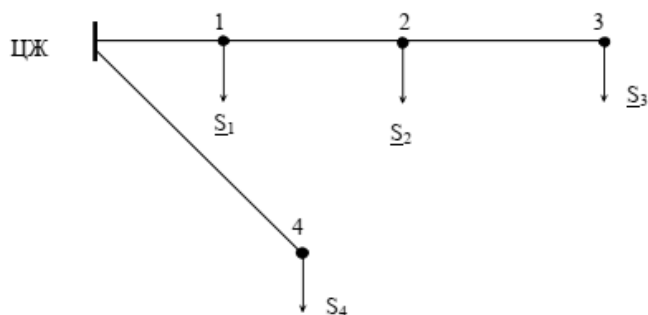
Задача № 3.1

Навести в загальному вигляді ітераційний розрахунок розімкнутої мережі 110 кВ (розрахунок у два етапи). Дані: розрахункові навантаження у вузлах, опори гілок і напруги в центрі живлення.



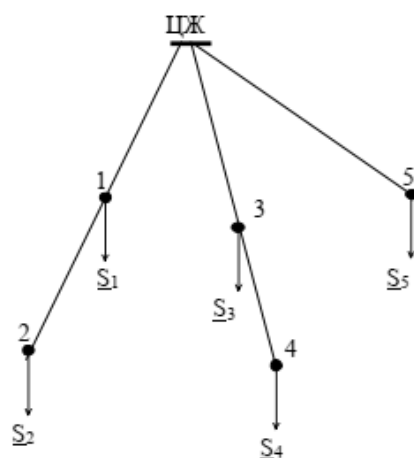
Задача № 3.2

Навести в загальному вигляді ітераційний розрахунок розімкнутої мережі 110 кВ (розрахунок у два етапи). Дані: розрахункові навантаження у вузлах, опори гілок і напруги в центрі живлення.



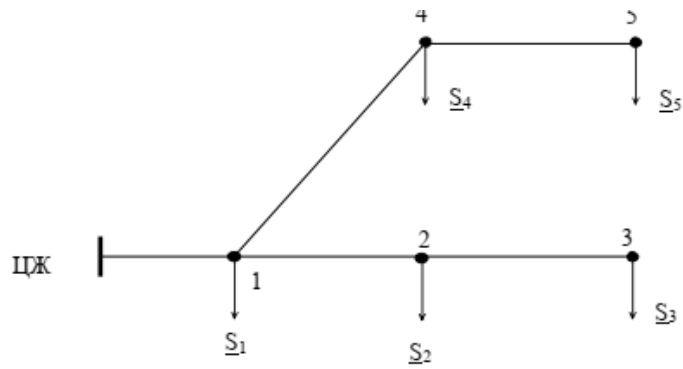
Задача № 3.3

Навести в загальному вигляді ітераційний розрахунок розімкнутої мережі 110 кВ (розрахунок у два етапи). Дані: розрахункові навантаження у вузлах, опори гілок і напруги в центрі живлення.



Задача № 3.5

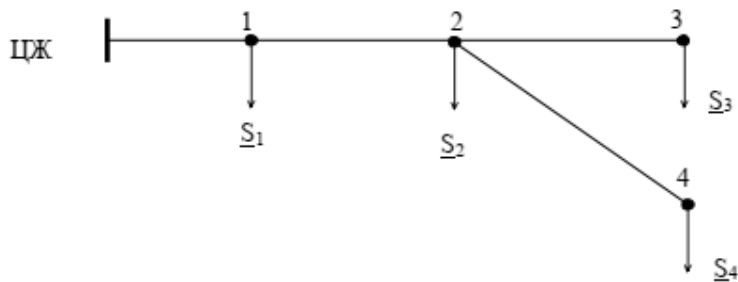
Навести в загальному вигляді ітераційний розрахунок розімкнутої мережі 110 кВ (розрахунок у два етапи). Дані: розрахункові навантаження у вузлах, опори гілок і напруги в центрі живлення.



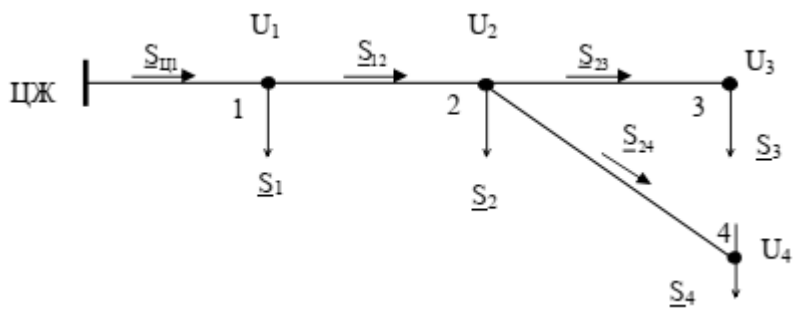
Практичне заняття № 4. Розрахунок мереж напругою 10 кВ

Задача № 4

Навести в загальному вигляді розрахунок мережі 10 кВ. Дані: розрахункові навантаження у вузлах, опори гілок і напруги в центрі живлення.



Розв'язок



$$S_{23} = S_3; S_{24} = S_4;$$

$$S_{12} = S_{23} + S_{24} + S_2;$$

$$S_{11} = S_{12} + S_1.$$

$U_{Ц}$ – дано;

$$\Delta U_{\text{цп}} = \frac{P_{\text{цп}} \cdot r_{\text{цп}} + Q_{\text{цп}} \cdot x_{\text{цп}}}{U_{\text{ном}}}; U_1 = U_{\text{ц}} - \Delta U_{\text{цп}};$$

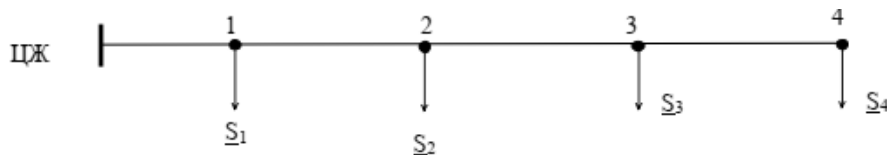
$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12} \cdot r_{12} + Q_{12} \cdot x_{12}}{U_{\text{ном}}}; U_2 = U_1 - \Delta U_{12};$$

$$\Delta U_{23} = \frac{P_{23} \cdot r_{23} + Q_{23} \cdot x_{23}}{U_{\text{ном}}}; U_3 = U_2 - \Delta U_{23};$$

$$\Delta U_{24} = \frac{P_{24} \cdot r_{24} + Q_{24} \cdot x_{24}}{U_{\text{ном}}}; U_4 = U_2 - \Delta U_{24}.$$

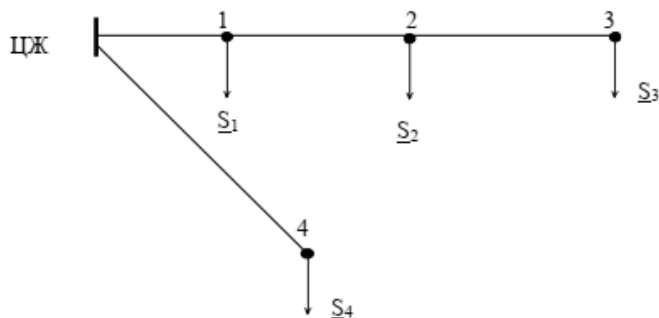
Задача № 4.1

Навести в загальному вигляді розрахунок мережі 10 кВ. Дані: розрахункові навантаження у вузлах, опори гілок і напруги в центрі живлення.



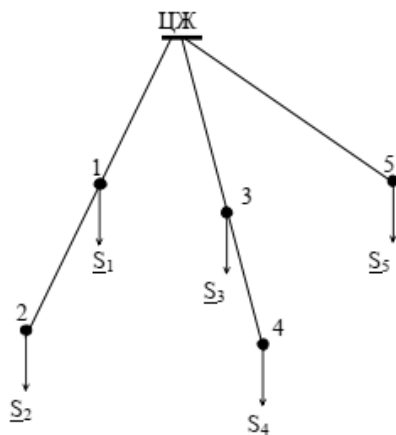
Задача № 4.2

Навести в загальному вигляді розрахунок мережі 10 кВ. Дані: розрахункові навантаження у вузлах, опори гілок і напруги в центрі живлення.



Задача № 4.3

Навести в загальному вигляді розрахунок мережі 10 кВ. Дані: розрахункові навантаження у вузлах, опори гілок і напруги в центрі живлення.

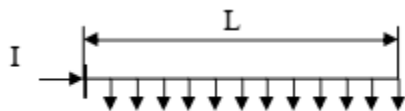


Практичне заняття № 5. Розрахунок втрат потужності і напруги з рівномірно-розподіленим навантаженням

Задача № 5

Розрахувати втрати потужності і напруги в лінії з рівномірно розподіленим навантаженням. $U_{\text{ном}} = 380$ В, довжина $L = 300$ м, питоме навантаження $i_0 = 0,2$ А/м, провід А16 ($\rho = 28,8$ Ом мм²/км).

Розв'язок



$$\Delta P = I^2 \cdot r_0 \cdot L;$$

$$\Delta U = \frac{I \cdot r_0 \cdot L}{2},$$

$$\text{де } I = i_0 \cdot L;$$

$$r_0 = \frac{\rho}{F};$$

F – перетин проводу, мм².

$$I = 0,2 \cdot 300 = 60 \text{ A};$$

$$r_0 = \frac{28,8}{16} = 1,8 \frac{\text{Ом}}{\text{км}};$$

$$\Delta P = I^2 \cdot r_0 \cdot L = 60^2 \cdot 1,8 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} = 1,944 \text{ кВт};$$

$$\Delta U = \frac{I \cdot r_0 \cdot L}{2} = \frac{60 \cdot 1,8 \cdot 0,3}{2} = 16,2 \text{ В}.$$

Задача № 5.1

Розрахувати втрати потужності й напруги в лінії з рівномірно розподіленим навантаженням. $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$, довжина $L = 300 \text{ м}$, питоме навантаження $i_0 = 0,2 \text{ А/м}$, провід А16 ($\rho = 28,8 \text{ Ом мм}^2/\text{км}$).

Задача № 5.2

Розрахувати втрати потужності й напруги в лінії з рівномірно розподіленим навантаженням. $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$, довжина $L = 400 \text{ м}$, питоме навантаження $i_0 = 0,1 \text{ А/м}$, провід А16 ($\rho = 28,8 \text{ Ом мм}^2/\text{км}$).

Задача № 5.3

Розрахувати втрати потужності й напруги в лінії з рівномірно розподіленим навантаженням. $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$, довжина $L = 350 \text{ м}$, питоме навантаження $i_0 = 0,15 \text{ А/м}$, провід А16 ($\rho = 28,8 \text{ Ом мм}^2/\text{км}$).

Задача № 5.4

Розрахувати втрати потужності й напруги в лінії з рівномірно розподіленим навантаженням. $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$, довжина $L = 200 \text{ м}$, питоме навантаження $i_0 = 0,3 \text{ А/м}$, провід А16 ($\rho = 28,8 \text{ Ом мм}^2/\text{км}$).

Задача № 5.5

Розрахувати втрати потужності й напруги в лінії з рівномірно розподіленим навантаженням. $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$, довжина $L = 150 \text{ м}$, питоме навантаження $i_0 = 0,35 \text{ А/м}$, провід А16 ($\rho = 28,8 \text{ Ом мм}^2/\text{км}$).

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Блок В. М. Электрические сети и системы / В. М. Блок. – М. : Высшая школа, 1986. – 430 с.
2. Быстрицкий Г. Ф. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов / Г. Ф. Быстрицкий. – М. : Академия, 2003. – 176 с.
3. Глазунов А. А. Электрические сети и системы / А. А. Глазунов, А. А. Глазунов. – М. : Госэнергоиздат, 1960. – 368 с.
4. Гук Ю. Б. Проектирование электрической части станций и подстанций : учебное пособие для вузов / Ю. Б. Гук. – Л. : Энергоатомиздат, 1985. – 312 с.
5. Зорін В. В., Штогрин Є. А., Буйний Р. О. Електричні мережі та системи (окремі розділи) : навч. посібник для студентів вищ. техн. навч. закл. / В. В. Зорін, Є. А. Штогрин, Р. О. Буйний. – Ніжин : ТОВ Видавництво «Аспект-Поліграф», 2011. – 248 с.
6. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С. С. Рокотяна и И. М. Шапиро. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.

Виробничо-практичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичних робіт
з навчальної дисципліни

«ЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ І МЕРЕЖІ»

*(для студентів денної та заочної форм навчання
та слухачів другої вищої освіти спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі : **ПЕРЕПЕЧЕНИЙ** Віталій Олександрович,
СВЕРГУНЕНКО Сергій Вікторович

Відповідальний за випуск *П. П. Рожков*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2017, поз. 204 М

Підп. до друку 23.05.2019. Формат 60 × 84/16

Друк на різнографі. Ум. друк. арк. 1,6

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.